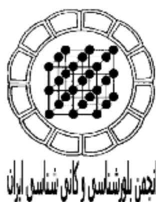
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارهٔ اول، بهار ۹۸، از صفحهٔ ۲۰۷ تا ۲۲۰



بررسی کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و رفتار عناصر در فرایند تشکیل بنتونیت‌های منطقه سربیشه (خراسان جنوبی، شرق ایران)

ملیحه نخعی[*1]، سید سعید محمدی[2]، ایرج رسا[3]، سمیه سمیعی[1]

۱- گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم ، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۷/۲/۸ ، نسخه نهایی: ۹۷/۵/۶)

چکیده: فعالیت‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط ترشیری و عملکرد پهنه‌های گسلی در منطقه سربیشه، شرایط مناسبی را برای تشکیل بنتونیت به ویژه در نهشته‌های آذرآواری فراهم نموده است. پهنه‌های بنتونیتی جنوب‌شرق گندکان، کلاته پدران، گلاب، گلستان، آسفیچ، حسن کلنگی و کنگان در گستره نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه هدف این پژوهش بوده‌اند. پردازش تصاویر ماهواره‌ای بیانگر رخداد دگرسانی گسترده رسی باحضور کانی مونت‌موریلونیت است. برداشت‌های صحرایی و بررسی‌های کانی‌شناسی به روش پراش پرتوی X (XRD)، پردازش‌های ماهواره‌ای و تشکیل بنتونیت در این مناطق را تایید نمود. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این بنتونیت‌ها شامل مونت‌موریلونیت، آنورتیت وکریستوبالیت هستند. بر اساس داده‌های موجود، بنتونیت حسن کلنگی از نوع سدیم-کلسیم‌دار، بنتونیت آسفیچ از نوع کلسیم-سدیم‌دار و بنتونیت گلستان از نوع کلسیمی است. سنگ مادر بنتونیت‌های مورد بررسی شامل گدازه‌های اسیدی تا حدواسط (ریوداسیت- داسیت تا آندزیت) و سنگ‌های آذرآواری (توف-برش) است که دچار دگرسانی متوسط تا شدید شده‌اند. محاسبه تغییرات زمین‌شیمیایی پهنه‌های بنتونیتی بیانگر کاهش سیلیس، سدیم و پتاسیم و افزایش کلسیم است.

واژه‌های کلیدی: *بنتونیت؛ سربیشه؛ پردازش ماهواره‌ای؛ تغییرات جرمی.*

مقدمه

کانی‌های رسی مانند کائولینیت، اسمکتیت، پالی‌گورسیت و ساپونیت از کانی‌های صنعتی بسیار مفید محسوب می‌شوند [۲،۱]. بنتونیت نام تجاری رس‌هایی است که از کانی‌های گروه اسمکتیت و از دگرسانی سنگ‌های آتشفشان آواری و آذرآواری تشکیل می‌شود [۳].

کانی‌های اصلی گروه اسمکتیت شامل کلسیم مونت‌موریلونیت، سدیم مونت‌موریلونیت، ساپونیت، نانترونیت، هکتوریت و بایدلیت هستند [۲]. مونت‌موریلونیت شاخص‌ترین کانی گروه اسمکتیت و تشکیل‌دهنده اصلی بنتونیت است [۲].

اندازه کلوئیدی و ساختار کانی‌های اسمکتیت سبب شده است تا این گروه دارای گستره وسیعی از کاربردها در صنایع مختلف باشد [۴]. این ماده معدنی امروزه در صنایع مختلفی از جمله گندوله‌سازی آهن، گل حفاری، سرامیک، ماسه ریخته‌گری، کاغذسازی، کشاورزی، لاستیک، پلاستیک، مواد نانو، پزشکی (بعنوان جاذب سموم) و مواد آرایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵- ۷]. از بین انواع مختلف کانی‌های رسی، کلسیم و سدیم مونت‌موریلونیت دارای بیشترین موارد مصرف هستند [۸، ۹].

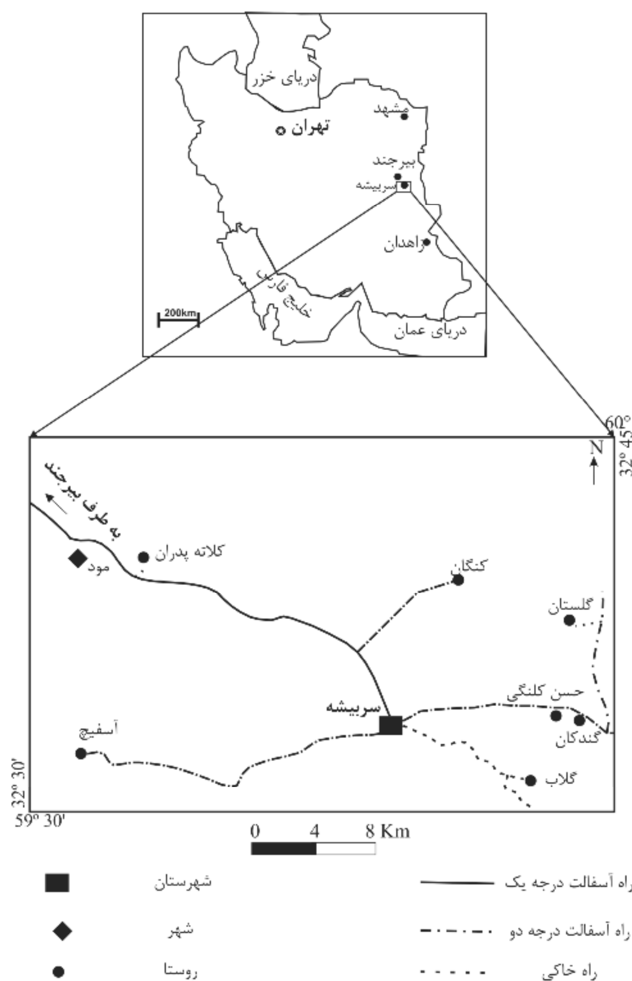
هرچند که فرایند تشکیل بنتونیت هنوز بخوبی شناخته

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۶۳۲۳۹۱۲۳۳، نمابر: ۰۵۶-۳۲۲۵۲۰۹۸، پست الکترونیکی: nakhaei@birjandut.ac.ir

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

نشده است، اما بیشتر پژوهش‌ها در این زمینه بیانگر آن است که تشکیل این ماده معدنی در ارتباط با رسوبگذاری خاکستر آتشفشانی از جنس ریولیت تا آندزیت، در دریاچه‌ها یا نواحی دریایی کم عمق صورت می‌گیرد [۱۰]. برخی از پژوهشگران معتقدند که ذخایر بنتونیت به صورت توده‌های چینه سان (دگرسان شده برجا) همراه لایه‌های غنی از خاکستر آتشفشانی و نیز به صورت ذخایر نابرجا و عدسی شکل در بین توالی‌های رسوبی تشکیل می‌شود. در حالت نخست، دگرسانی دوتریک و ترکیب سنگ‌شناسی نقش اساسی دارد، در صورتیکه در حالت دوم، هوازدگی سبب نهشته شدن عدسی‌های خاکستر آتشفشانی در دریاچه‌ها یا محیطهای دلتایی می‌شود [۱۱].

بسیاری از ذخایر مهم بنتونیت ایران در شرق کشور و به‌ویژه در استان خراسان جنوبی واقع شده است. این ذخایر، بیشتر بوسیله سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میزبانی شده و بعقیده برخی از پژوهشگران [۱۳،۱۲] نتیجه فرایندهای درونزادی پس از فوران و ته‌نشینی خاکسترهای آتشفشانی در یک محیط آبی کم عمق چون تالاب‌ها هستند. در این جا، پس از بررسی زمین‌شناسی، هفت ذخیره بنتونیتی جنوب‌شرق گندکان، کلاته پدران، گلاب، گلستان، آسفیچ، حسن کلنگی و کنگان در گستره نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه [۱۴]، به عنوان هدف پژوهش انتخاب شدند (شکل ۱). براساس تقسیم‌بندی زمین‌شناسی و ساختاری ایران، برخی از پژوهشگران منطقه سربیشه را بخشی از پهنه لوت [۱۵] و عده‌ای آن را در مرز زمین درز سیستان معرفی نموده‌اند [۱۶، ۱۷]. رویدادهای زمین‌ساختی مختلف در شرق ایران و به ویژه پهنه لوت، باعث رخداد حجم عظیم فعالیت ماگمایی ترشیری (آتشفشانی و نفوذی) با ویژگی‌های زمین شیمیایی مختلف شده [۱۸،۱۵] و کانی‌سازی‌های مختلف فلزی و غیرفلزی را به همراه داشته است. در این پژوهش، پس از مطالعات دورسنجی، کانی‌شناسی و زمین شیمی، رفتار عناصر اصلی طی تشکیل بنتونیت بر پایه ویژگی‌های سنگ والد و شرایط محیطی بررسی شده است.



شکل ۱ جایگاه ذخایر بنتونیتی مورد بررسی در منطقه سربیشه.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

روش بررسی

برای انجام این پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای استر از مناطق مورد بررسی تهیه و پردازش گردید. بر این اساس، مناطق امیدبخش شناسایی و با برداشت‌های صحرایی کنترل شد. برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و دگرسانی سنگ اولیه، حدود ۳۰ مقطع نازک تهیه و با دقت بررسی گردید. به منظور بررسی ترکیب کانی‌شناسی بنتونیت‌های مورد بررسی، پس از نمونه‌برداری دقیق از پهنه‌های بنتونیتی، تعداد ۱۸ نمونه به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) و برای عناصر اصلی و فرعی به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) در شرکت کانساران بینالود تهران تجزیه شدند.

بحث و بررسی

زمین شناسی

براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه [۱۴]، واحدهای سنگی منطقه در سه گروه سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و رسوبات عهد حاضر تقسیم می‌شوند. نتایج پژوهش‌های مختلف [۱۹-۲۲] نشان داده است که سنگ‌های آتشفشانی منطقه سربیشه به صورت گدازه‌ای و آذرآواری (توف، آگلومرا و برش) با ترکیب حدواسط تا اسیدی شامل آندزیت، تراکی‌داسیت، داسیت و ریولیت (گاهی پرلیتی) رخنمون دارند. توف‌ها از مهم‌ترین واحدهای آذرآواری در این منطقه و از نوع شیشه‌ای، بلورین و شیشه‌ای- بلورین هستند که در اثر دگرسانی به کانی‌های رسی از جمله بنتونیت تبدیل شده‌اند. پهنه‌های بنتونیتی لایه‌ای و عدسی شکل با گستردگی بسیار در منطقه، پتانسیل اقتصادی نسبتاً بالایی دارند. از نظر ساختاری، منطقه سربیشه تحت تاثیر عملکرد پهنه گسلی سربیشه با طول تقریبی۶۰ کیلومتر با راستای شمال غرب-جنوب شرق و در راستای یکی از سرشاخه‌های گسل نه خاوری قرار دارد که با تداوم به جنوب، به بخش اصلی گسل نهبندان متصل می‌گردد [۲۳]. افزون بر این، گسل‌های همت آباد، شوشک، دسته قیچ، زولسک [۲۴]، قلعه سرخ و پورنگ [۲۵] نقش مهمی در خردشدگی و دگرسانی سنگ‌های گدازه‌ای- آذرآواری و تشکیل پهنه‌های دگرسانی رسی، سیلیسی، اکسید آهن و تشکیل بنتونیت داشته است. رنگ بنتونیت‌های مورد بررسی بر اساس نوع سنگ اولیه و فراورده‌های دگرسانی، متغیر است و به رنگ‌های سفید، سبز، قرمز و صورتی دیده می‌شوند.

دگرسانی

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

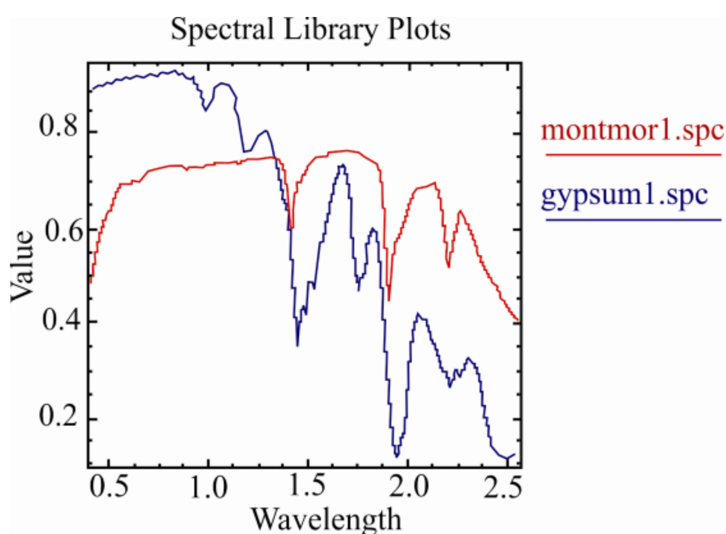
امروزه پردازش تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد آن در اکتشاف مواد معدنی مورد توجه ویژه‌ای قرار دارد. این روش به عنوان روشی سریع و ارزان، جانشین روش‌های نقشه‌برداری سنتی از مناطق دربردارنده کانی‌های رسی شده است [۲۶]. دقت روش پردازش ماهواره‌ای به حدی است که قدرت تفکیک کانی‌هایی را که در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص نیستند و تنها با روش پراش پرتو ایکس (XRD) می‌توان آنها را شناسایی کرد، داراست. این امر مربوط به تفاوت‌های جزئی در دامنه طیف جذبی و بازتابی امواج الکترومغناطیسی کانی‌هاست. بررسی‌های دورسنجی در این منطقه به کمک داده‌های ماهواره‌ای استر با شماره Aster1B_64839_615 که در تاریخ ۲۰۰۶/۵/۱۱ تصویربرداری شده‌اند، انجام گرفت. سنجنده آستر شامل۱۴ نوار است که براساس گستره طول موج به سه دسته تقسیم شده است [۲۸،۲۷] که عبارتند از: ۱- گستره مرئی و فروسرخ نزدیک (VNIR) شامل سه نوار ۱، ۲ و ۳ با تفکیک مکانی ۱۵ متر، ۲- گستره فروسرخ کوتاه (SWIR) شامل شش نوار (۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹) و دارای تفکیک مکانی ۳۰ متر، ۳- گستره فروسرخ گرمایی (TIR) شامل پنج نوار (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴) با تفکیک مکانی ۹۰ متر.

در این پژوهش تصاویر ماهواره‌ای، پس از تصحیح هندسی و مکان نگاری و ادغام نوارهای SWIR، VNIR و TIR، به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) با نرم‌افزار ENVI 4.4 پردازش شدند. روش تفکیک SAM (Spectral Angle Mapper) نوعی رده‌بندی هدایت شده (Supervised Classification) است که از مقایسه طیف تصاویر و طیف استاندارد کتابخانه طیفی استفاده می‌کند [۳۰،۲۹]. از مزیت‌های این روش شناسایی دقیق نوع و محل کانی‌ها و شدت و گسترش دگرسانی به تفکیک پهنه‌های مختلف است. در منطقه مورد بررسی، طیف‌های موجود در پیکسل‌های تصویر آستر با کتابخانه طیفی دیجیتالی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) موجود در نرم‌افزار ENVI 4.4 مقایسه شدند. در این روش، کانی مونت‌موریلونیت به عنوان شاخص پهنه دگرسانی رسی و ژیپس بعنوان کانی فرعی موجود در بیشتر پهنه‌های بنتونیتی در نظر گرفته شده است. طیف استاندارد کانی‌های

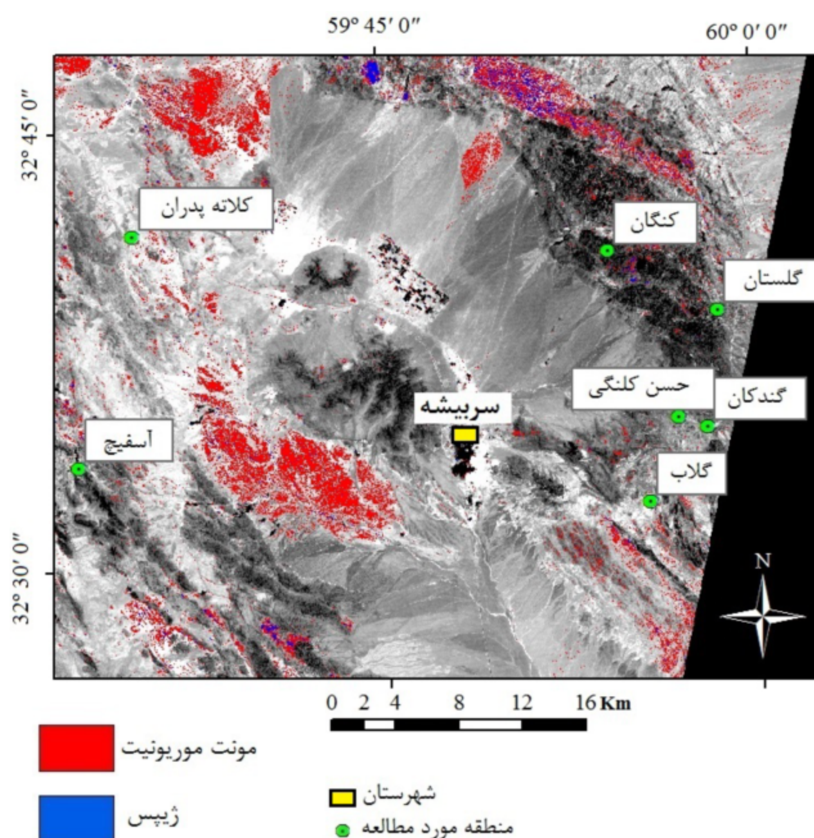
[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

انتخاب شده از کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا در شکل ۲ آمده است.

بر اساس نتایج بدست آمده از بررسی‌های دورسنجی، دگرسانی رسی و کانی مونت‌موریلونیت در مناطق هدف قابل مشاهده است (شکل ۳). نتایج بررسی‌های صحرایی نیز حضور این دگرسانی‌ها را تایید نمود، بطوریکه رخداد فعالیت‌های آتشفشانی اسیدی ائوسن-الیگوسن در شرق و شمال شرق سربیشه، شرایط مناسبی را برای تشکیل بنتونیت بوجود آورده است.



شکل ۲ طیف استاندارد کانی‌های انتخاب شده از کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا موجود در نرم افزار (2003) ENVI 4.4.



شکل۳ پردازش تصاویر آستر به روش SAM برای کانی‌های مونت‌موریلونیت و ژیپس در مناطق مورد بررسی.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

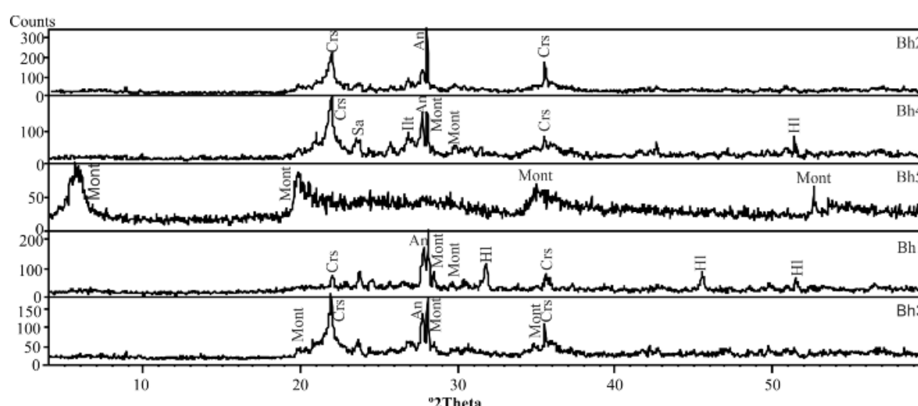
ویژگی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی

با توجه به اینکه بنتونیت‌ها ترکیبی از رس اسمکتیتی و چند کانی دیگر هستند، برای تشخیص نوع کانی رسی و کانی‌های همراه از روش XRD استفاده شد. بررسی‌های کانی‌شناسی در مناطق هدف نشان می‌دهد که مونت‌موریلونیت، آنورتیت، کریستوبالیت و کانی بی شکل سازنده‌های اصلی هستند که در مقادیر کمتر با ایلیت، هالیت، ژیپس ، کلسیت و دولومیت همراه هستند. ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های بنتونیت مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. بر این اساس مشخص شد که در همه نمونه‌های مورد بررسی، مونت‌موریلونیت به عنوان کانی اصلی و یا فرعی وجود دارد.

در شکل‌های ۴ و ۵، نمودار پراش پرتوی ایکس نمونه‌های بنتونیت منطقه حسن‌کلنگی و کنگان آمده است. چنان که دیده می‌شود، کانی مونت‌موریلونیت به عنوان فاز اصلی در بیشتر نمونه‌ها وجود دارد. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های بنتونیت از مناطق مورد بررسی (جدول ۲) نشان می‌دهد که در نمونه‌های بنتونیت منطقه جنوب شرق گندکان و گلاب، مقدار Na_2O بیشتر از CaO است اما با وجود کانی آلبیت به عنوان فاز اصلی، تعیین نوع بنتونیت نیاز به نمونه‌برداری‌های بیشتری دارد. در منطقه کنگان از ۳ نمونه برداشت شده جهت XRD، تعداد ۲ نمونه برای تجزیه شیمیایی نیز انتخاب شد که مقدار Na_2O آنها بالاتر از CaO است، ولی با توجه به حضور کانی‌های آنورتیت، سنگ گچ و هالیت در این نمونه‌ها، تعیین نوع بنتونیت امکان پذیر نیست. در بیشتر نمونه‌های منطقه حسن کلنگی، مقدار Na_2O بیشتر از CaO است که با بهره‌گیری از ترکیب کانی‌شناسی، می‌توان گفت که این بنتونیت از نوع سدیم- کلسیم‌دار است. نمونه‌های آسفیچ و گلستان به ترتیب از نوع کلسیم- سدیم‌دار و کلسیم‌دار هستند.

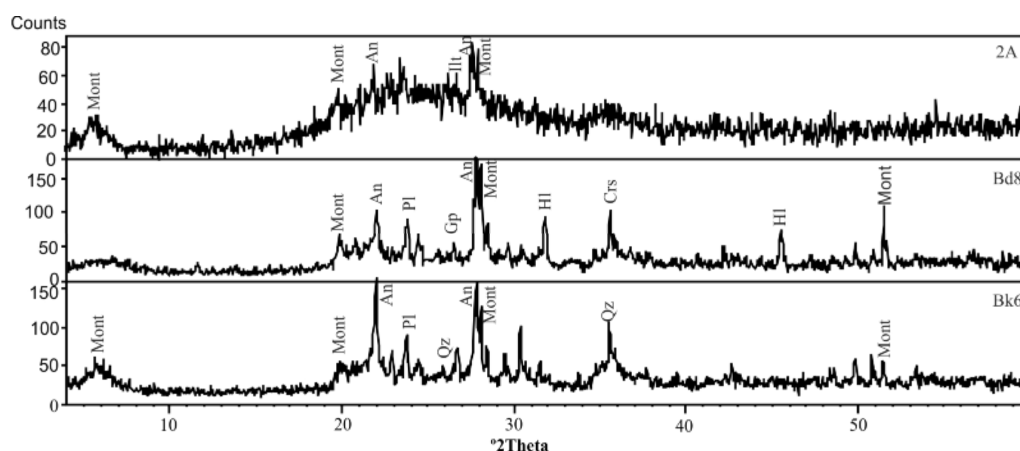
جدول ۱ مشخصات کانی‌شناسی نمونه‌های بنتونیت از مناطق مورد بررسی.

منطقه	کد نمونه	فاز اصلی	فاز فرعی
جنوب شرق گندکان	SEG	مونت‌موریلونیت- آلبیت، کریستوبالیت	کوارتز، مسکویت
کلاته پدران	GKP	مونت‌موریلونیت، آلبیت، فاز بی شکل ، کوارتز	سنگ گچ
گلاب	GB	مونت‌موریلونیت، آلبیت، بی شکل	کوارتز
گلستان	GLS1	کریستوبالیت، مونت‌موریلونیت، آلبیت	هالیت
	GLS2	کریستوبالیت، مونت‌موریلونیت	هالیت
	GLS3	کریستوبالیت، مونت‌موریلونیت	هالیت، آلبیت
آسفیچ	ASF1	مونت‌موریلونیت، آلبیت	کوارتز
	ASF2	مونت‌موریلونیت	کوارتز
	ASF3	مونت‌موریلونیت	کوارتز
حسن کلنگی	HK-GZ	مونت‌موریلونیت، کریستوبالیت، آلبیت	-
	Bh1	مونت‌موریلونیت، آنورتیت، بی شکل	هالیت، کریستوبالیت
	Bh2	آنورتیت، مونت‌موریلونیت، کریستوبالیت	بی شکل، کوارتز، ایلیت
	Bh3	آنورتیت، کریستوبالیت	بی شکل، ایلیت، مونت‌موریلونیت
	Bh4	آنورتیت، کریستوبالیت	ایلیت، مونت‌موریلونیت، سانیدین
	Bh5	مونت‌موریلونیت	-
کنگان	Bk6	آنورتیت - مونت‌مویلونیت، کریستوبالیت	کوارتز، بی‌شکل
	2A	بی شکل، مونت‌موریلونیت	آنورتیت، ایلیت
	Bd8	آنورتیت - مونت‌موریلونیت	سنگ گچ، کریستوبالیت، بی‌شکل، هالیت



شکل ۴ طیف پراش پرتوی X (XRD) مربوط به پنج نمونه از بنتونیت‌های منطقه حسن کلنگی.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]



شکل ۵ طیف پراش پرتوی X (XRD) مربوط به سه نمونه از بنتونیت‌های منطقه کنگان.

جدول ۲ نتایج تجزیه عناصر اصلی (wt%) و فرعی (ppm) بنتونیت‌های مورد بررسی.

جایگاه	جنوب شرق گندکان	کلاته پدران	گلاب	گلستان	گلستان	گلستان	آسفیچ	آسفیچ	آسفیچ
کد نمونه	SEG	GKP	GB	GLS1	GLS2	GLS3	ASF1	ASF2	ASF3
SiO_2	۷۴٫۲۳	۷۲٫۰۳	۷۳٫۸	۷۲٫۶۵	۷۴٫۴۲	۶۸٫۲۶	۶۵٫۰۹	۶۶٫۰۷	۶۰٫۱۹
TiO_2	۰٫۲۸	۰٫۲۲	۰٫۰۶	۰٫۲۹	۰٫۱۵	۰٫۲۴	۰٫۵۳	۰٫۵۳	۰٫۷۸
Al_2O_3	۱۲٫۰۱	۱۲٫۶۲	۱۲٫۱۳	۱۰٫۷۸	۱۱٫۱۷	۱۱٫۲۷	۱۳٫۲۵	۱۵٫۷۱	۱۴٫۶۶
Fe_2O_3	۲٫۵۰	۲٫۵۰	۱٫۹۹	۲٫۳۳	۱٫۶۵	۲٫۰۰	۷٫۵۲	۳٫۷۱	۹٫۲۲
MnO	۰٫۰۱۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۲۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲
MgO	۱٫۴۸	۱٫۱۹	۰٫۳۹	۲٫۰۸	۱٫۵۳	۲٫۵۲	۱٫۳۸	۲٫۵۲	۴٫۱۸
CaO	۱٫۲۶	۲٫۰۰	۰٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۹۲	۳٫۴۸	۲٫۵۲	۲٫۷۲	۱٫۰۳
Na_2O	۲٫۱۶	۱٫۶۲	۱٫۲۰	۱٫۹۴	۱٫۸۵	۰٫۵۱	۱٫۷۳	۱٫۹۵	۱٫۳۰
K_2O	۱٫۰۷	۲٫۸۸	۳٫۰۳	۰٫۵۰	۰٫۸۴	۰٫۶۹	۰٫۸۵	۰٫۵۷	۰٫۷۲
P_2O_5	۰٫۰۴۴	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۴۷	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴
افت گرمایی	۴٫۴۶	۴٫۶۶	۵٫۷۳	۷٫۳۸	۶٫۷۱	۱۰٫۴۳	۶٫۶۱	۵٫۹۸	۷٫۵۹
مجموع	۹۹٫۵۱	۹۹٫۸۱	۹۹٫۲۲	۹۹٫۲۸	۹۹٫۲۳	۹۹٫۴۶	۹۹٫۷۳	۹۹٫۸۰	۹۹٫۷۳
V(ppm)	۲۵۴	۳۱	۲۴	۳۱	۲۶	۳۰	۸۰	۴۱	۱۴۰
Co	۴	۵	۶	۲	۲	۳	۱۵	۷	۲۶
Ni	۳	۲۵	۶	۱۰	۸	۴	۶۳	۵۹	۳۱۷
Rb	۵۰	۱۱۹	۱۴۴	۴۱	۷۲	۵۶	۵۵	۳۳	۱۱
Sr	۲۵۴	۲۴۶	۱۱۴	۱۷۷	۱۵۰	۳۰۰	۳۶۶	۳۸۱	۱۸۶
Nb	۷	۱۱	۱۲	۱۳	۱۲	۷	۳	۱۶	۵
Ba	۱۵۷	۳۹۷	۱۴۴	۸۹	۴۷	۱۴	۶۳۶	۲۵۰	۶
Th	۱۶	۱۰	۱۰	۲۱	۲۶	۲۰	۱۵	۱۶	۳
U	۲	۲	۸	۹	۴	۷	۲	۳	۱
Zr	۲۴۲	۱۰۱	۶۳	۱۵۵	۱۱۴	۱۳۸	۱۷۸	۲۱۶	۴۴
Y	۱۶	۲۰	۲۵	۲۰	۱۷	۱۶	۱۵	۱۷	۱۲
Ce	۸۶	۲۵	۳	۲	۵	۱۴	۲۱	۳۸	۳
Cu	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱۸	۴۶۲
Zn	۶۵	۵۳	۵۲	۳۶	۳۷	۳۳	۱۱۰	۷۳	۴۴
Pb	۱۸	۳۰	۱۹	۱۸	۱۳	۲۰	۱۶	۱۴	۶
Cr	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۸	۳۷۸

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

ادامه جدول ۲

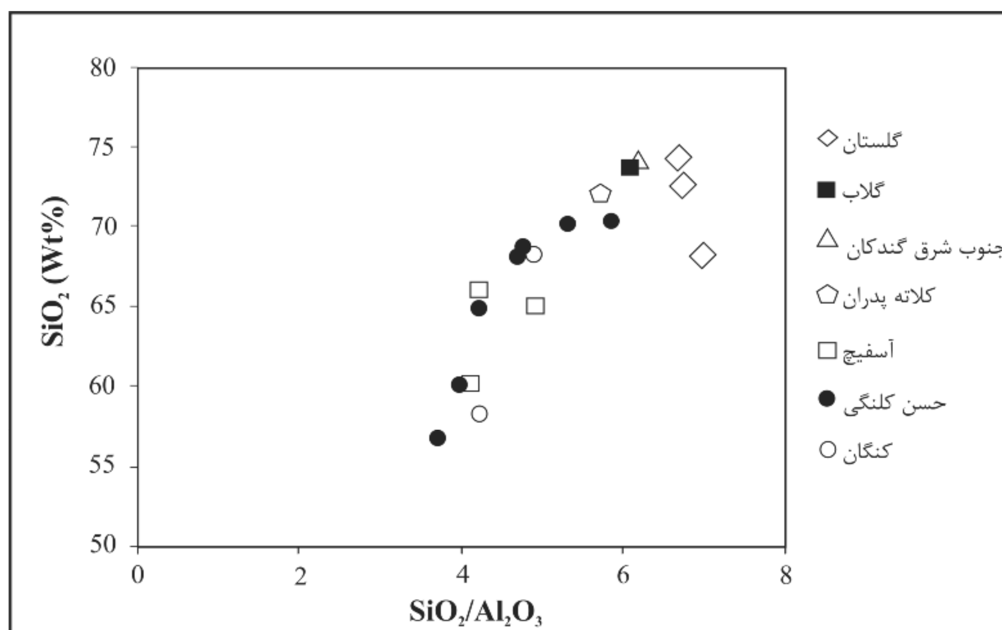
جایگاه	حسن کلنگی	حسن کلنگی	حسن کلنگی	حسن کلنگی	حسن کلنگی	حسن کلنگی	حسن کلنگی	کنگان	کنگان
کد نمونه	HK-GZ	Bh1	Bh2	Bh3	Bh4	Bh5	Bh6	2A	Bd8
SiO_2(Wt%)	۷۰٫۴	۶۰٫۲۱	۶۸٫۷۱	۶۸٫۲۲	۷۰٫۲۷	۵۶٫۷۴	۶۴٫۹۸	۶۸٫۲۵	۵۸٫۳۳
TiO_2	۰٫۲۴	۰٫۴۸	۰٫۲۶	۰٫۲۷	۰٫۲۲	۰٫۶۱	۰٫۵۶	۰٫۲۲	۰٫۵۵
Al_2O_3	۱۲٫۰۸	۱۵٫۲۲	۱۴٫۵۶	۱۴٫۶۱	۱۳٫۲۶	۱۵٫۳۳	۱۵٫۴۶	۱۴	۱۳٫۸۷
Fe_2O_3	۲٫۸۴	۳٫۳۲	۲٫۶۵	۲٫۲۲	۲٫۴۲	۴٫۷۸	۲٫۹۶	۱٫۴۳	۳٫۳۷
MnO	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۱
MgO	۲٫۷۸	۰٫۹۸	۰٫۶۱	۰٫۶۲	۰٫۵۶	۲٫۲۱	۰٫۸۱	۰٫۶۳	۰٫۹۳
CaO	۱٫۵۹	۳٫۶۶	۱٫۲۱	۱٫۲۸	۱٫۲۲	۲٫۷۱	۳٫۸۲	۱٫۱۶	۳٫۶۲
Na_2O	۱٫۴۱	۵٫۱۱	۲٫۴۱	۲٫۸۶	۲٫۳۹	۰٫۷۵	۱٫۶۹	۱٫۶۱	۴٫۷۴
K_2O	۰٫۸۰	۲٫۱۹	۲٫۷۶	۲٫۹۸	۳٫۹۸	۰٫۵۶	۱٫۳۹	۴٫۳۸	۱٫۱۸
P_2O_5	۰٫۰۴	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۳	۰٫۰۲	۰٫۱۳
افت گرمایی	۷٫۲۳	۸٫۵۱	۶٫۵۲	۶٫۳۸	۵٫۳۴	۱۵٫۹۲	۷٫۹۶	۷٫۹۹	۱۲٫۴۴
مجموع	۹۹٫۴۲	۹۹٫۸۷	۹۹٫۷۶	۹۹٫۵۳	۹۹٫۷۹	۹۹٫۷۷	۹۹٫۸۰	۹۹٫۷۲	۹۹٫۱۷
V(ppm)	۲۸	۵۴	۲۹	۲۴	۳۰	۶۶	۶۷	۲۶	۶۶
Co	۶	۳	۳	۲	۴	۱۷	۳	۳	۷
Ni	۳	۴۴	۳۵	۳۳	۴۰	۱۰۱	۵۵	۳۶	۴۸
Rb	۵۵	۱۳۲	۱۱۳	۱۱۱	۱۳۳	۳۴	۱۰۵	۲۲۷	۱۰۶
Sr	۳۳۳	۵۰۹	۲۴۱	۲۷۷	۲۳۵	۷۸۷	۴۶۶	۱۸۹	۴۳۶
Nb	۳	۲	۱۶	۴	۵	۴	۲	۲	۲
Ba	۹۲	۲۹۴	۲۹۲	۴۸۰	۳۸۷	۳۳۵	۴۸۹	۵۶۹	۴۱۳
Th	۱۱	۸	۱۶	۷	۶	۲	۱۳	۱۹	۹
U	۱	۱	۶	۳	۸	۱	۳	۹	۷
Zr	۲۱۴	۲۴۴	۲۷۷	۲۹۰	۲۸۳	۲۶۶	۲۷۹	۲۲۰	۲۵۲
Y	۱۷	۵۰	۵۰	۵۱	۵۴	۲۷	۴۷	۷۵	۴۸
Ce	۳۱	۳۲	۷۲	۵۰	۶۴	۲۶	۵۳	۳۱	۵۴
Cu	۱	۲۳	۱۹	۲۰	۲۰	۴۹	۳۴	۲۶	۱۹
Zn	۵۸	۴۸	۷۶	۷۲	۷۱	۶۷	۶۴	۴۶	۶۰
Pb	۱۹	۲۳	۲۵	۱۹	۲۸	۱۳	۳۶	۳۷	۲۲
Cr	۱	۱۵	۵	۶	۶۱	۹۹	۹	۱۴۵	۲۵

مقدار SiO_2 در نمونه‌های بنتونیت از ۷۰٫۴ تا ۷۴٫۴۲ در تغییر است (جدول ۲). به منظور تعیین مقدار ناخالصی سیلیس (بصورت کوارتز، تریدیمیت و یا کریستوبالیت) در بنتونیت‌های مورد بررسی از نسبت SiO_2/Al_2O_3 و درصد SiO_2 استفاده شد [۳۱] (شکل ۶). چنان که دیده می‌شود، مقدار سیلیس آزاد در بنتونیت‌های مورد بررسی به طور متوسط ۶۵-۶۰ درصد است. وجود کانی‌های غیررسی در بنتونیت، اثرهای منفی بر کیفیت و کاربردهای احتمالی آن دارد [۳۲]. بنابراین ناخالصی‌های بنتونیت باید تا حد ممکن حذف شوند. افزایش مقدار مونت-موریلونیت و یا بهبود ویژگی‌های این کانی با حذف ناخالصی‌ها برای کاربردهای مختلف ضروری است. به منظور به دست آوردن ذرات مونت‌موریلونیت کوچکتر از ۲ میکرون، روش‌هایی مانند الک کردن، پراکنش ذرات بر اساس سرعت ته‌نشینی، مرکزگریزی و استفاده از امواج فراصوت به کار رفته است [۳۲-۳۴]. توک و همکاران [۳۲] روش‌های ته‌نشینی، مرکزگریزی و امواج فراصوت را در حذف ناخالصی کوارتز موثر می‌دانند. در شکل ۷ تغییرات مقدار Fe_2O_3 نسبت به SiO_2 [۳۱] در بنتونیت‌های مورد بررسی نشان داده شده است. بیشترین مقدار

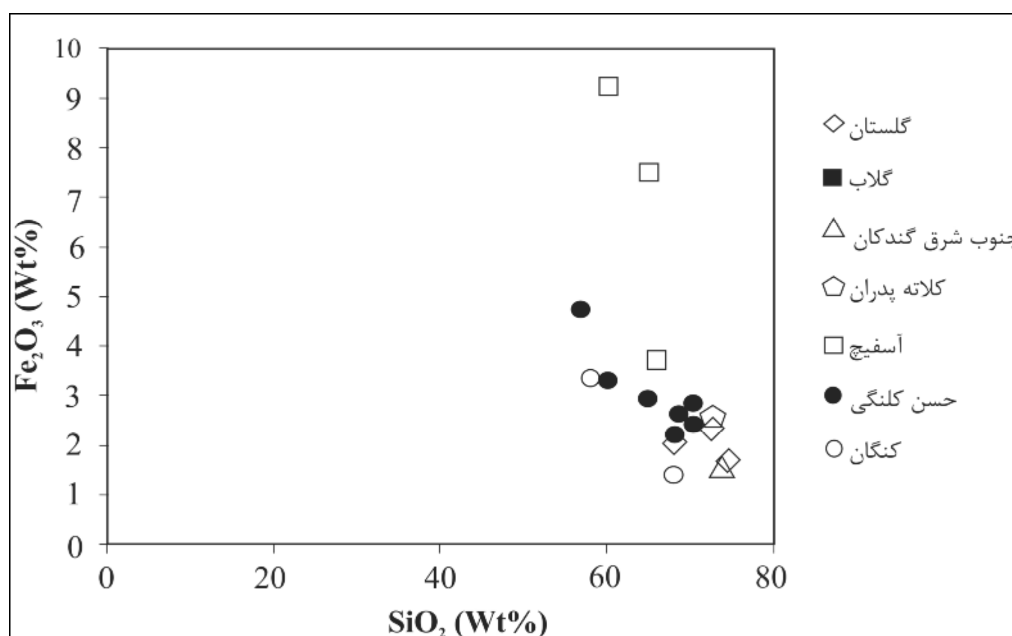
[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

Fe_2O_3 مربوط به بنتونیت‌های منطقه آسفیچ و کمترین آن مربوط به برخی نمونه‌های منطقه حسن کلنگی است. فراوانی آهن در بنتونیت‌ها سبب ایجاد رنگ زرد مایل به سبز شده است.

به منظور تعیین ترکیب شیمیایی سنگ مادر بنتونیت‌های مورد بررسی از نمودار Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y (شکل ۸) [۳۵] استفاده شد. چنان که در این شکل دیده می‌شود، سنگ اولیه بیشتر بنتونیت‌های مورد بررسی دارای ترکیب ریوداسیت-داسیت و در برخی نمونه‌ها آندزیت و تراکی آندزیت است.

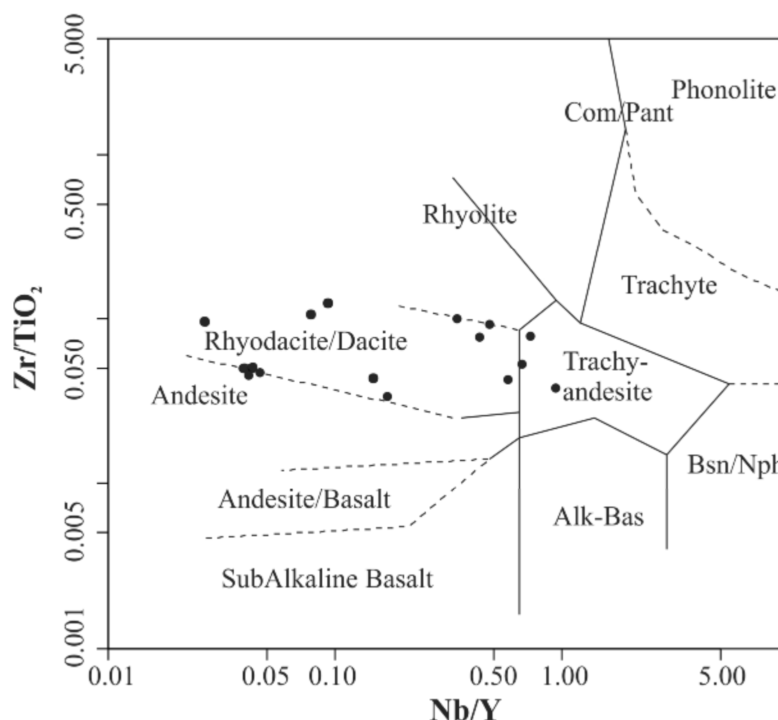


شکل ۶ تغییرات SiO_2 نسبت به SiO_2/Al_2O_3 برای بنتونیت‌های مورد بررسی [۳۱].



شکل ۷ تغییرات Fe_2O_3 نسبت به SiO_2 برای بنتونیت‌های مورد بررسی [۳۱].

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]



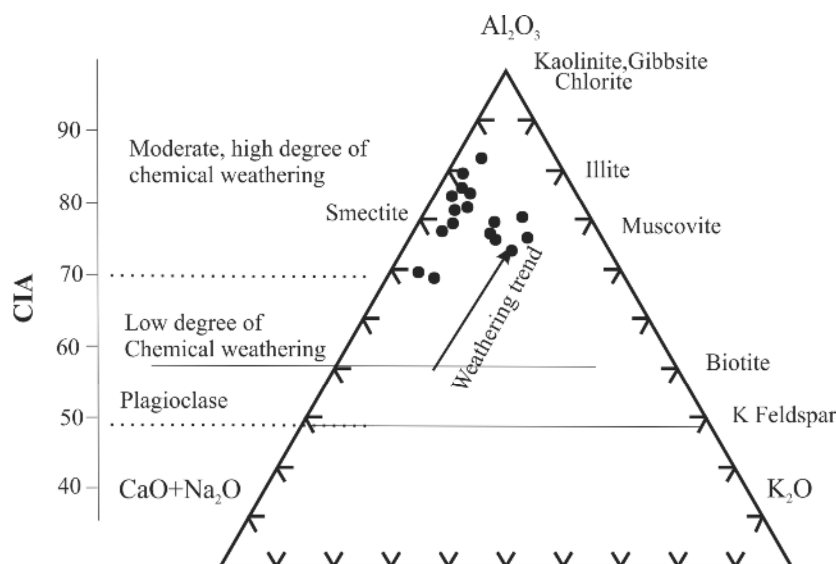
شکل ۸ جایگاه نمونه‌های بنتونیتی مناطق مورد بررسی در نمودار Nb/Y نسبت به Zr/TiO_2 [۳۵].

شاخص شیمیایی دگرسانی

شاخص شیمیایی دگرسانی CIA بر اساس مقدار آلومینیوم نسبت به عناصر قلیایی تعریف شده [۳۷،۳۶] و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CIA = [Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]*100$$

بیشینه مقدار CIA برای سنگ‌های سالم ۵۰ درصد است که با افزایش شدت دگرسانی و حمل همه عناصر قلیایی، مقدار آن می‌تواند تا ۱۰۰ درصد افزایش یابد. چنان که در شکل ۹ دیده می‌شود، همه نمونه‌های مناطق کنگان و حسن کلنگی در گستره هوا زدگی شیمیایی شدید تا متوسط قرار گرفته و روند هوا زدگی، تبدیل پلاژیوکلاز به اسمکتیت را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار CIA مربوط به نمونه‌های آسفیچ (۸۳ درصد) بوده و چنان که در جدول ۱ دیده می‌شود، در بیشتر نمونه‌های این منطقه، مونت‌موریلونیت بعنوان تنها فاز اصلی است.



شکل ۹ جایگاه نمونه‌های بنتونیتی منطقه مورد بررسی در نمودار ACNK [۳۷].

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

محاسبه تغییرات زمین شیمیایی پهنه‌های بنتونیتی

روش‌های مختلفی برای محاسبه کاهش و یا افزایش جرم در سیستم‌های مختلف دگرسانی و هوازدگی ارائه شده است. برای مثال می‌توان به روش ضریب حجم [۳۸]، روش ایزوکون [۳۹] و روش عنصر نامتحرک [۴۰-۴۲] اشاره کرد. در این پژوهش، جهت بررسی تغییرات زمین شیمیایی مربوط به فرایند بنتونیتی‌شدن در منطقه سربیشه از روش محاسبات تغییر جرم عناصر [۴۰] استفاده شد. این روش بر پایه تعیین عنصر شاخص بی‌تحرک، فاکتور غنی‌شدگی، ترکیب بازسازی شده و تغییر جرم عناصر استوار است که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

تعیین عنصر شاخص بی‌تحرک: برای محاسبه جرم عناصر، باید عنصری را که مشخصاتی چون بیشترین پایداری شیمیایی طی فرایند هوازدگی، بالا بودن غلظت عنصر به طوری که توسط روش‌های تجزیه‌ای معمول قابل انجام باشد و بسته بودن سیستم برای عنصر مورد نظر را داراست، انتخاب و تغییرات عناصر دیگر را نسبت به این عنصر محاسبه کرد [۴۰]. عناصری مانند Ti، Nb، Zr و Al طی فرایندهای دگرسانی بی‌تحرک هستند [۴۳-۴۵].

در این پژوهش، سنگ‌های آتشفشانی اسیدی و حدواسط که سنگ مادر بنتونیت‌های مورد بررسی هستند، به عنوان مرجع مقایسه در نظر گرفته شدند. در این محاسبات از نتایج تجزیه‌های زمین‌شیمی [۲۰،۲۲] برای مناطق کنگان و حسن کلنگی استفاده شد. بر این اساس، فراوانی عنصر Ti در نمونه‌های بنتونیتی حسن‌کلنگی و کنگان و سنگ‌های آتشفشانی وابسته به آن‌ها به عنوان شاخص عنصر بی‌تحرک طی فرایند بنتونیتی‌شدن به عنوان پایه محاسباتی انتخاب شد. براساس نتایج سنگ‌نگاری مشخص شد که سنگ مادر سایر بنتونیت‌های مورد بررسی نیز ترکیب مشابه مناطق نام برده را دارد. بنابراین، نتایج به دست آمده به سایر مناطق مورد بررسی نیز قابل تعمیم است.

تعیین فاکتور غنی شدگی [1] (E.F.)

فاکتور غنی‌شدگی برای هر یک از واحدها بر اساس مقدار TiO_2 در سنگ‌های آتشفشانی و بنتونیت‌های مورد بررسی، از معادله زیر محاسبه شد [۴۰]:

$$E.F. = \frac{\text{فراوانی } TiO_2 \text{ در نمونه دگرسان نشده (سنگ‌های آتشفشانی)}}{\text{فراوانی } TiO_2 \text{ در نمونه دگرسان شده (بنتونیت)}}$$

تعیین ترکیب بازسازی شده [2] (R.C.)

ترکیب بازسازی شده، جرم خالص یک واحد یا سنگ را نشان می‌دهد که از اجزای متحرک غنی یا تهی شده‌اند. ترکیب بازسازی شده برای هر عنصر از رابطه زیر محاسبه شد:

R.C.= فراوانی عنصر یا اکسید مورد نظر در نمونه دگرسان شده × E.F.

تعیین تغییر جرم عناصر [3] (M.C.)

تغییرات جرم عناصر از محاسبه تفاوت بین ترکیب بازسازی شده و سنگ اولیه به دست می‌آید. مقادیر تغییر جرم عناصر از رابطه زیر محاسبه شد:

M.C.= R.C.- فراوانی عنصر در ترکیب اولیه سنگ (نمونه شاهد) × E.F.

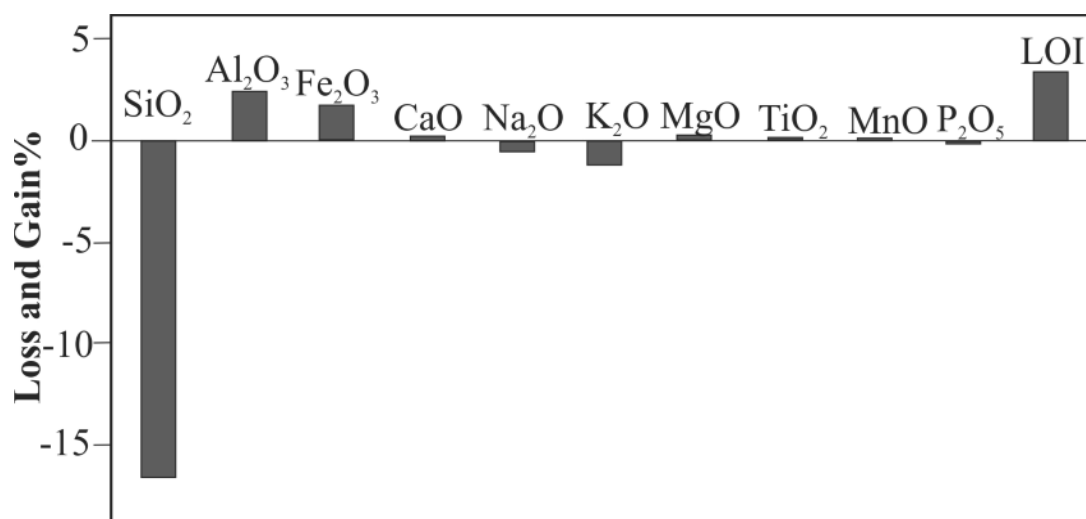
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تغییرات جرمی بنتونیت‌های منطقه حسن کلنگی و کنگان را نشان می‌دهد. تهی‌شدگی K و Si می‌تواند به دگرسانی فلدسپارها و ورود عناصر یاد شده به محلول‌های دگرسان کننده در سامانه واکنشی آب- سنگ مربوط باشد [۴۶]. K_2O تهی‌شدگی کمی نسبت به سنگ مادر نشان می‌دهد. این امر به دلیل مهاجرت K_2O از سنگ مادر است، اما به دلیل وجود ایلیت به صورت فاز فرعی در نمونه مورد بررسی و عدم حضور فلدسپات پتاسیم، کاهیدگی کم است. به عقیده ملک محمودی و همکاران [۴۷]، فرآیند بنتونیت‌زایی می‌تواند از عوامل تأمین سیلیس باشد. اگر سیلیس از خاستگاه تشکیل بنتونیت منتقل شود، نخست بنتونیت بدون چند شکلی‌های سیلیس تشکیل می‌شود و سرانجام باقی ماندن سیلیس اضافه در سیستم موجب تشکیل اوپال در کنار بنتونیت‌ها می‌گردد. این امر می‌تواند تهی‌شدگی شدید SiO_2 را توجیه کند. غنی شدگی CaO ممکن است به دلیل جایگیری آن در جایگاه میان لایه‌ای رس‌ها و یا به دلیل وجود کانی آنورتیت باشد. پلاژیوکلاز مهم‌ترین کانی دربردارنده Na در سنگ مادر بنتونیت‌های مورد بررسی است. شستشوی این عنصر طی تشکیل بنتونیت، می‌تواند سبب از دست رفتن آن شود [۴۸]. افزایش جرم Mg می‌تواند به دلیل تشکیل کانی‌های گروه اسمکتیت باشد.

1 - Enrichment Factor

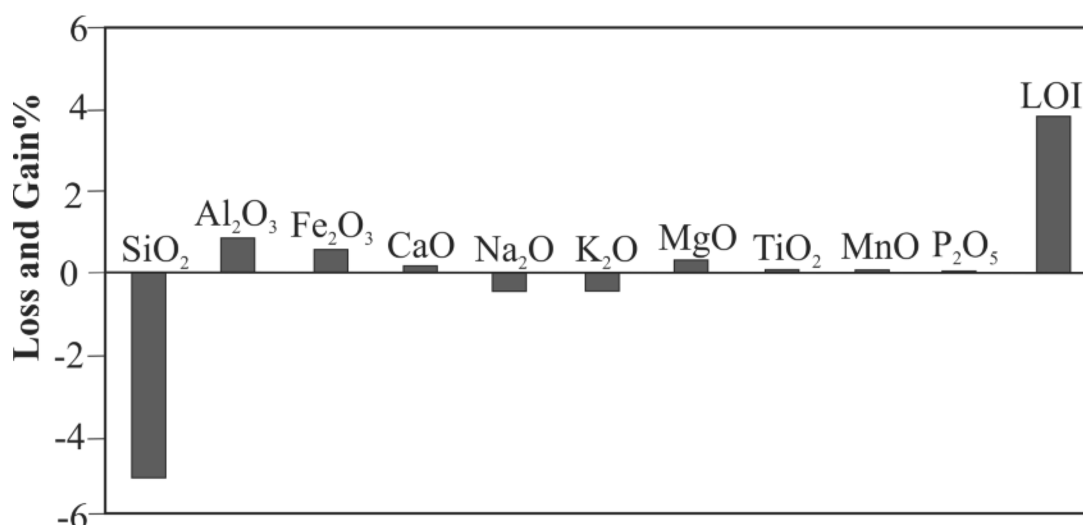
2 - Reconstracted Composition

3 - Mass Change

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]



شکل ۱۰ نمودار تغییرات جرم در بنتونیت‌های منطقه حسن کلنگی.



شکل ۱۱ نمودار تغییرات جرم در بنتونیت‌های منطقه کنگان.

برداشت

فعالیت زمین‌ساختی پهنه گسلی سربیشه و سرشاخه‌های آن در واحدهای آتشفشانی اسیدی و حدواسط سبب ایجاد پهنـه‌هـای بنتونیتی در منطقه سربیشه شده است. نتایج به دست آمـده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های کانی‌شناسـی بـه روش XRD نشان می‌دهد که مونت‌موریلونیت کانی اصلی موجود در این بنتونیت‌ها بوده و کانی‌سازی سنگ گچ بسیار محدود اسـت. فرایند تشکیل بنتونیت در مناطق مـورد بررسـی، بـا دگرسـانی سنگ‌های اولیه مانند ریوداسیت- داسیت تا آندزیت در ارتبـاط است. شاخص دگرسانی این بنتونیت‌ها (CIA) متوسط تا شدید (به طور میانگین ۷۵ درصد) است. طی دگرسانی، عناصر اصـلی Si، Na و K تهی‌شدگی و عناصـر Fe، Mg و Ca غنـی‌شـدگی نشان می‌دهند. با اینکه مقدار ناخالـصی‌هـای موجـود بـه ویـژه سیلیس آزاد در بنتونیت‌های مورد بررسی بالاست، اما بـا توجـه به گسترش قابل توجه پهنه‌های بنتونیتی و استخراج آسـان آن پیشنهاد می‌شود که روش‌های خالص‌سازی و یا فرمول‌سازی آن بررسی شود.

مراجع

[1] Murray H.H., *"Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview"*, Applied clay science 17 (2000) 207-221.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

bentonite mine, Sarayan, Iran", Advanced applied geology journal (5) (2012) 69-79.

[14] Nazari H., Salamati R., *"Geological map of Sarbisheh, sheet 7955 (Sarbisheh), scale 1:100,000"*, Geological Survey of Iran, Tehran (1999).

[15] Karimpour M. H. Stern C. R., Farmer L., Saadat S., Malekezadeh A. *"Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran"*, Geopersia 1(1) (2011) 19-36.

[16] Camp V.E., and Griffis R.J., *"Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran"*, Lithos 15 (1982) 221-239.

[17] Saccani E., Delavari M., Beccaluva L. and Amini S., *"Petrological and geochemical constraints on the origin of the Nehbandan ophiolitic complex (eastern Iran): Implication for the evolution of the Sistan Ocean"*, Lithos 117 (2010) 209–228

[18] Jung D., Keller J., Khorasani R., Marcks C., Baumann A., Horn P., *"Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran"* Geological Survey of Iran,Tehran, Report 51 (1983) 519.

[19] Goodarzi M., Mohammadi S.S., Zarrinkoub M.H., *"Petrography, geochemistry and tectonic setting of Salmabad Tertiary volcanic rocks, southeast of Sarbisheh, eastern Iran"*, Journal of Economic Geology 6 (2014) 593-621,(in Persian with English abstract).

[20] Malekian Dstjerdi M., *"Petrology of volcanic rocks in Kangan area (northeast of Sarbisheh), Southern Khirasan province with respect to their economic importance"* M.Sc thesis University of Birjand, Birjand, Iran (2016) 127.

[21] Mohammadi S.S., "*Geology and Petrologyof Tertiary volcanic rocks of Sarbisheh perlite mine area (eastern Iran) and industrial applications"* Journal of Economic Geology 4 (2012) 59-76.

[22] Mohammadi S.S., Bayani R., Nakhaie M., Chung S.L., Zarrinkoub M.H. , "*Petrgraphy, mineral chemistry, geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanic rocks in Shoushk area (east of Sarbisheh), Southern Khorasan"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 25 (1) (2017) 167-186.

[2] Murray H.H., "*Applied clay mineralogy, Occurrences, Processing and Applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskitesepiolite, and Common Clays",* Elsevier science 2 (2000) 188.

[3] Grim R.E., Güven, N., *"Bentonites, Geology, Mineralogy, Properties and Uses, Development in Sedimentology"*, Elsevier 24 (2011) 256.

[4] Modabberi S., Namayandeh A., Galindo A., Viseras C., Setti M., Ranjbaran M., *"Characterization of Iranian bentonites to be used as pharmaceutical materials"*, Applied Clay Science116 (2015) 193-201.

[5] Bazargani-Gilani K., Rabani M.S., *"Mineralogy, chemistry and genesis of the Eocen sediments at Aftar region, western Semnan"* Iranian journal of crystallography and mineralogy 12 (2004) 188-169.

[6] Shah L.A., Khattak N., Valenzuela G. S., Manan M., Valenzuela-Díaz F. *"Preparation and characterization of purified Na-activated bentonite from Karak (Pakistan) for pharmaceutical use"*, Clay Minerals 48 (2013) 595-603.

[7] Nones J., Riella H. G, Trentin A.G., Nones J., *"Effects of bentonite on different cell types: A brief review"*, Applied Clay Science 105 (2015) 225-230.

[8] Güven N.,*"Bentonites- clay for molecular engineering"*, Elements 5(2) (2009) 89-92.

[9] Abdel-Motelib A., Kader Z.A., Ragab Y.A., Mosalamy M., *"Suitability of a Miocene bentonite from North Western Desert of Egypt for pharmaceutical use"*, Applied Clay Science, 52 (2011) 140-144.

[10] Meunier A., *"Clays "*1 edition. Sprinde (2005) 486.

[11] Palomba M., Padalino G., Marchi M., *"Industrial mineral occurrences associated with Cenozoic volcanic rocks of Sardinia (Italy): Geological, mineralogical, geochemical features and genetic implications"*, Ore Geology Reviews 29 (2006) 118–145.

[12] Abedini A., Calagari A. A., Akbari M., *"Geochemistry and genesis of Mehredjan bentonite deposit, Southeast of Khoor, Isfahan province"*, Geopersia 1(2011) 47–58.

[13] Namayandeh A., Modabberi S., Ranjbaran M., *"Moneralogy and geochemistry of Chah- Golestan*

[23] Karimi Dehkordi M., "*Deformation analysis of Sarbisheh fault zone in eastern Iran* "Ms.C thesis, University of Birjand, Birjand, Iran (2012) 129.

[24] Gholami E.," *Deformation analysis along major trends of north- northeastern Lut plain*", Ph.D. Thesis, Tarbiat modares University, Tehran, Iran (2009) 181.

[25] Yazdanpanah H., Khatib M.M., Nazari H., Gholami E., *"Analysis of Strike- slip kinematics in a shear zone with heterogeneous slip rate: case study lut area, eastern Iran"*, Scientific Quaternary Journal 25 (2015) 279- 290.

[26] Dlamini N.J., *"Detection of expensive soil using remote sensing in Brits North-west province, south Africa"*, MSc thesis, university of Pretoria (2015) 55.

[27] Fujisada H., *"Design and performance of ASTER instrument, in Fujisada, H., and Sweeting, M.N., eds. Proceedings"* SPIE (International Society for Optical Engineering (1995), 2583: 16–25.

[28] Fujisada H., Iwasaki A., Hara, S., *"ASTER stereo system performance. Proceedings of SPIE"*, the International Society for Optical Engineering 4540 (2001), Toulouse: 39–49.

[29] Kruse F.A., Lefkoff A.B., Boardman J.W., Heidebrecht K.B., Shapiro A.T., Barloon J.P., Goetz, A.F.H., *"The spectral image processing system (SIPS) "* (1993).

[30] ENVI User's Guide,. "*ENVI User's Guide V. 4.4.* ", Research Systems (2003), Inc, P.1084.

[31] Nakhaie M., "*Geochemistry and mineralogy of Khorasan bentonites and syudy their application in casting industry"*, M.Sc Thesis, Ferdowsi uneversity of Mashhad, Mashhad, Iran (2002) 145.

[32] Thuc C. N. H., Grillet A. C., Reinert L., Ohashi F., Thuc H. H., Duclaux L. *"Separation and purification of montmorillonite and polyethylene oxide modified montmorillonite from Vietnamese bentonites"*, Applied Clay Science 49(3) (2010) 229-238.

[33] Mirhoseini Moosavi P., Astaraei A., Karimi A., Karimi, G.H., *"Identification and Purification of Montmorillonite Mineral of Ghaen Mine Bentonite"*, Journal of Water and Soil 28 (2014) 987-997.

[34] Arroyo L.J., Li H., Teppen B.J., Boyd S.A., *"A simple method for partial purification of references clays"*,Clays and Clay Minerals, 53(5) (2005) 512-520.

[35] Winchester J. A., Floyd P.A., *"Geochemical discrimination of different magma series and their diferentiation products using immobile element"*, Chemical geology 20 (1977) 325-343.

[36] Nesbitt H. W., Young G.M., *"Early proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lunitites"*, Nature 299 (1982) 715.

[37] Fedo C. M., Nesbit P., Young G. M., *"Unraveling the effect of K metasomatism in sedimentary rock and paleosoils with implications for paleoweathering conditions and provenance",* Geology 23 (1995) 363-381.

[38]Gresens R.L., *"Composition –volume relationships of metasomatism"*, Chemical Geology 2 (1967) 47-55.

[39] Grant J., *"The isocone diagram –A simple solution to Gresen's equation for metasomatic alteration"*, Economic geology 81 (1986) 1976-1982.

[40] Maclean W.,"*Mass change calculations in altered rock series*", Mineralium Deposita 25 (1990) 44-49

[41] Nesbitt H. W., Wilson R. E., *"Recent chemical weathering of basalts"*, American Journal of science 292 (1992) 740-777.

[42] Brimhall G.H., Chadwick O.A., Lewis C.J., Compston W., Williams I.S., Danti K.J., Dietrich W.E., Power M.E., Hendricks D., Bratt J., *"Deformational mass transport and invasive processes in soil evolution"*, Science 255 (1992) 695-702.

[43] Cail T.L., Cline J.S., *"Alteration associated with gold deposition at the Getchell Carlin-type gold deposit, north-central Nevada"*, Economic Geology 96(2001) 1343–1359.

[44] MacLean W.H., Hoy L.D., *"Geochemistry of hydrothermally altered rocks at the Horne mine, Noranda, Quebec"*, Economic Geology 86(1990) 506–528

[45] Barrett T., MacLean W.H., *"Mass changes in hydrothermal alteration zones associated with VMS deposits of the Noranda area"*, Exploration and Mining Geology 3(1994)131–160.

[46] Fatahi S., Calagari A. A., Abedi A., Bagheri H., *"Geochemical aspects of Chahereeseh bentonite deposit, northeast of Isfahan, central*

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]

[48] Zielinski R.A., *"The mobility of uranium and other elements during alteration of rhyolite ash to mintmorillonite: a case study in the troublesome formation. Colorado. U.S.A.",* Chemical geology 35 (1982) 185-204.

Iran structural zone", Scientific quaternary journal 24 (2015).

[47] Malek mahmoodi F., Khalili M., Bagheri H., *"Geochemistry and origin of bentonite and silica mineralization in Kavir mine from Khur and Biyabanak (Isfahan province)",* Scientific quaternary journal 93 (2014) 67-76.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.207]